12 M

COMMISSION PARLEMENTAIRE PERMANENTE

DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

BIBLIOTHÈQUE
22 MAI 1983

Soumis par:

LE CONSEIL DE L'INDUSTRIE
DE L'HYDROGÈNE

Montréal, le 10 mars 1983

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

LA NATURE DE L'INTERVENTION DU CIH

Le présent document constitue une prise de position du Conseil de l'Industrie de l'Hydrogène, devant la commission parlementaire sur l'énergie.

En tant que prise de position, ce document ne prétend pas à une présentation exhaustive de faits et données, non plus qu'à une démonstration scientifique.

Parmi toutes les énergies nouvelles ou de remplacement et les technologies en cours de développement, le CIH a choisi de présenter un choix pour les orientations souhaitables de la politique énergétique du Québec en se situant résolument dans le cadre d'un objectif de développement économique.

UN CHOIX DÉJÀ RETENU

"Au fur et à mesure que le pétrole perdra sa prédominance dans notre bilan énergétique, la BIOMASSE s'imposera comme source intéressante d'énergie de remplacement, permettant soit de dégager directement l'énergie, soit de convertir la matière première en une matière qui peut faire l'objet d'une combustion ultérieure et produire de l'énergie.

Deux devises énergétiques peuvent être tirées de toutes les différentes sources d'énergie... Il s'agit de l'ÉLECTRICITÉ et de l'HYDROGÈNE. Ces deux devises devraient dominer le tableau énergétique du Canada dans le long terme... La rapidité avec laquelle une filière énergétique basée sur l'hydrogène et l'électricité se développera dépendra d'un certain nombre de facteurs dont le moins important n'est certainement pas les engagements politiques nécessaires à son avènement." (1)

---

(1) "Énergies de remplacement", Rapport du Comité Spécial de la Chambre des Communes, Ottawa 1981.

SOURCE ÉNERGÉTIQUE, DEVISE ÉNERGÉTIQUE ET POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE

En matière d'énergie et de politique énergétique, il semble essentiel de distinguer les concepts de source et devise énergétiques. Par source énergétique nous entendons la ressource primaire qui est transformable, entre autres, en une forme d'énergie ou une autre. En ce sens, les ressources hydrauliques harnachables, les hydrocarbures, le charbon,... constituent des sources énergétiques.

Par vecteur énergétique nous pouvons considérer qu'il s'agit plutôt d'une forme finale d'énergie utilisable directement pour son pouvoir calorifique. Le vecteur énergétique constitue une forme de stockage et transport de l'énergie.

En ce sens, le coke, l'essence, l'huile à chauffage, l'électricité,... constituent des vecteurs énergétiques.

Cette distinction est importante, d'autant plus que l'utilisation du terme énergie refère essentiellement à l'utilisation d'un pouvoir calorifique à des fins de chauffage, d'alimentation de machines et de transport (carburant).

En effet, suivant sa nature, la source énergétique peut avoir des utilisations beaucoup plus diversifiées que la seule production d'une devise énergétique.

C'est une dimension qui n'est pas forcément partie d'une politique énergétique qui, en général, ne considérera les sources énergétiques qu'en regard des devises énergétiques qui en seront obtenues.

À cet égard, on peut signaler l'impact du PEN et de l'accord entre l'Alberta et le gouvernement du Canada qui ne se sont pas préoccupés des incidences du prix sur l'industrie pétrochimique canadienne et de l'est en particulier.

De la même façon, il est permis de s'étonner que la politique énergétique du Québec se soit focalisée sur un concept d'autonomie énergétique alors même que le Québec ne dispose que d'une seule ressource (l'hydraulique) dont la seule utilisation est la transformation en une devise (l'électricité) d'une part et que, d'autre part, la provenance des autres sources n'a pas d'influence particulière pour le Québec sur les plans économique et financier.

Dans l'un et l'autre cas, on peut être porté à considérer que le potentiel de développement économique découlant de chaque source énergétique n'a pas reçu une attention suffisante dans la formulation des politiques énergétiques qui prévilégient des substitutions au niveau de l'usage pour le pouvoir calorifique alors que ce sont les autres utilisations des sources énergétiques qui sont susceptibles d'avoir les plus grands effets d'entraînement économique.

LE CADRE D'UNE POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE

LE CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE

Après le quasi-traumatisme causé aux économies occidentales par les "chocs pétroliers" successifs depuis 1973, ayant entraîné une effervescence en faveur de la recherche de sources énergétiques de remplacement, la scène énergétique mondiale connait présentement une certaine détente.

Des prévisions encore toutes récentes qui entrevoyaient un renchérissement continuel et rapide des hydrocarbures sont remplacées par une prévision voulant que les prix de cette source énergétique dominante connaitront une stabilisation pour la décennie en cours, sinon une diminution en termes réels.

La crise économique et la situation financière des pays producteurs de pétrole ainsi que le succès des politiques de conservation de l'énergie mises de l'avant avec succès en occident suggèrent que cette nouvelle prévision a de grandes chances de se concrétiser.

En plus de toutes ses conséquences directes, une stabilisation du prix des hydrocrabures risque d'entraîner des bouleversements profonds.

Quand l'objectif politico-stratégique d'indépendance énergétique rencontrait la logique économique de minimiser les coûts, et ce à l'échelle du monde industriel, le concensus pouvait se révéler facile à obtenir sur les choix de nouvelles sources d'énergie et les efforts à y consacrer.

Les affirmations de prévisionnistes et futurologues faisant du potentiel énergétique des États un critère fondamental d'évaluation de leur avenir économique, les initiatives internationales dont l'Agence Internationale de l'Énergie, les sommes consacrées dans chaque pays à la R & D sur les énergies nouvelles en sont autant d'indications.

Par contre, la situation actuelle conduit nécessairement à un éloignement des considérations d'ordre économique de celles d'ordre politico-stratégique. Les critères économiques de minimisation des coûts et de rentabilisation des investissements exercent et vont sans doute continuer à exercer une pression croissante.

De nombreux projets énergétiques en ont déjà fait les frais tels, au Canada, ceux d'exploitation des sables bitumineux et, au Québec, celui de valorisation des huiles lourdes.

L'effort actuel de recherche, développement et démonstration relié à l'énergie est basé sur l'espoir que les nouvelles sources ou technologies seront compétitives à l'horizon du début de la prochaine décennie. Ceci repose non seulement sur les améliorations attendues au point de vue de l'efficacité des nouvelles technologies mais aussi sur une poursuite régulière de l'augmentation des prix des hydrocarbures.

Avec un horizon plus lointain de rentabilisation des efforts de R &D et D, on peut craindre de sérieuses remises en cause pour les filières énergétiques nouvelles.

Il peut donc être estimé que nous en sommes à un point tournant où les efforts faits pour les énergies nouvelles risquent d'être considérablement diminués ou, tout au moins, de susciter moins d'intérêt de la part des industries.

C'est justement à ce point tournant qu'une politique énergétique peut se révéler essentielle. Si les gouvernements maintiennent un objectif politico-stratégique d'indépendance énergétique, ils devront reformuler leur politique énergétique de façon à donner un appui essentiel à la poursuite des efforts du secteur privé. Pour cela, ils devront rétablir la confiance des investisseurs privés dans les possibilités de rentabilisation de leurs investissements dans les nouvelles filières énergétiques, à un horizon acceptable.

POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE ET/OU DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE

Dans le contexte ayant prévalu au cours des années '70, une politique énergétique pouvait se justifier en tant que telle. La dépendance de sources extérieures d'approvisionnement couplée avec une augmentation rapide des coûts de ces approvisionnements avait une répercussion considérable sur les capacités concurrentielles de chaque économie nationale ainsi que sur les équilibres financiers de chaque État.

Ces incidences suffisaient à justifier la définition et la mise en oeuvre d'une politique énergétique conçue comme telle même si le Canada, avec le Programme Énergétique National, l'a accompagnée d'objectifs politiques particuliers. Dans ce dernier cas, on peut considérer que le diagnostic de situation et les prévisions ont permis de prendre appui sur des considérations économiques et stratégiques pour "faire passer" des objectifs politiques qui n'auraient pu être mis de l'avant que très difficilement dans un contexte différent.

Au Québec, parallèlement, la politique énergétique s'est surtout basée sur des considérations d'équilibres énergétiques et économiques, alors même que le levier économique de l'énergie n'a pas donné lieu au développement d'une politique spécifique.

À ce niveau, il convient de mettre en exergue le fait qu'il semble toujours avoir été difficile d'intégrer la politique énergétique à une politique de développement économique.

Même si l'énergie a pu être considérée comme un facteur économique PRIORITAIRE, durant les années '70 et jusqu'au début des années '80, elle ne semble pas avoir été étudiée en détail au niveau de sa capacité, comme facteur économique, à générer un développement. Un observateur extérieur semble fondé de considérer que la priorité consistait à rétablir des équilibres énergétiques (reliés à des objectifs politiques) en relation avec des équilibres financiers globaux. De la détention d'un facteur économique devenu essentiel à l'échelle mondiale devait normalement découler un dynamisme économique renouvellé.

Une telle approche recèle des potentialités de fortes déceptions. Dans une certaine mesure, l'expérience du Québec peut en fournir une illustration: malgré une abondance en énergie hydroélectrique renouvelable et offerte à un prix très compétitif à l'échelle mondiale, le Québec n'a pas bénéficié de nombreuses implantations industrielles.

Il est certain que le facteur énergétique a joué un rôle majeur dans la localisation d'industries comme les pâtes et papiers et la première transformation des métaux. Toutefois, l'essentiel de ces implantations a été obtenu avant toute politique gouvernementale formelle en matière d'énergie et avant même que cette énergie soit rendue disponible.

Malgré une volonté exprimée depuis quelques années, la disponibilité d'hydro-électricité n'a pas contribué de façon spectaculaire à la diversification de la base économique du Québec: les principales implantations concernent les mêmes secteurs industriels des pâtes et papiers et de première transformation des métaux.

Cette problématique nouvelle de la politique énergétique semble reconnue puisque les travaux de préparation de "Bâtir le Québec" ont dégagé qu'il y a peu de produits pour lesquels l'électricité compte pour plus de 1 à 5% des coûts totaux de production. Le nombre de produits pour lesquels l'électricité est un facteur essentiel de localisation est très réduit.

Cette situation n'est sans doute pas particulière à l'électricité. La considération à retenir de cette expérience et du contexte énergétique décrit précédemment, c'est certainement qu'une devise énergétique:

- qui est seulement sous une forme d'énergie consommable représente moins de potentiel de développement économique;

- qu'une devise qui est aussi une matière première transformable.

Cette assertion liminaire correspond à une comparaison, par exemple, entre l'électricité, le charbon et le pétrole.

Il peut être avancé que la politique énergétique ne doit pas être considérée isolément mais comme un élément d'une politique de développement. En conséquence, parmi les sources d'énergie et les devises énergétiques disponibles ou accessibles à moyen et long terme, une politique devrait privilégier les filières qui offrent comme opportunités:

- d'accentuer le développement de nouvelles technologies de pointe, exportables;

- des possibilités d'engendrer de nouveaux types de complexes industriels.

Ces opportunités peuvent être recherchées soit au niveau de la source énergétique soit à celui de la devise énergétique.

Comme illustration des avantages à rechercher, on peut signaler l'exemple de l'hydro-électricité:

- au niveau de la source, le potentiel hydraulique harnachable étant localisé au Québec, les retombées des travaux de construction peuvent être maximisées en termes de main-d'oeuvre et de fourniture de biens et services;

- le développement d'une expertise locale permet non seulement de contribuer aux retombées des travaux mais aussi de bénéficier d'une capacité d'exportation;

- la structure d'exploitation de la devise énergétique permet également de bénéficier d'un maximum d'impact à ce niveau.

NOUVELLES TECHNOLOGIES ET ÉNERGIE

Sur le plan particulier des diverses sources énergétiques actuellement ou potentiellement disponibles pour une politique de l'énergie au Québec, il convient de procéder à certaines distinctions:

. d'une part, les principales sources énergétiques actuellement utilisées sont le pétrole, l'hydro-électricité et le gaz naturel. Depuis les années "70" toute politique énergétique vise essentiellement à tenter de diminuer l'importance de la première source pour les raisons déjà abordées dans la partie consacrée au contexte énergétique. C'est l'approche retenue par la politique du Québec jusqu'à présent; avec l'absence de potentiel sérieux pour des découvertes d'hydrocarbures au Québec, cette politique devrait se poursuivre.

L'hydro-électricité, bien qu'elle soit très bien intégrée au développement du Québec, ne fournit qu'une alternative partielle en raison du potentiel limité de sites harnachables, des problèmes spécifiques de stockage, d'harmonisation de la production et de la consommation, de la difficulté de l'utiliser comme remplacement aux carburants dans le domaine du transport. La technologie, en ce domaine, a atteint un stade de maturité.

Le gaz naturel présente un intérêt certain comme énergie de transition. Son potentiel économique dépasse largement sa seule utilisation comme source énergétique mais il n'est pas évident que ce potentiel puisse être mis à profit au Québec.

Pour les années à venir, ces sources énergétiques fourniront l'essentiel des besoins du Québec, suivant des proportions variables. Cependant, ceci ne constitue pas à notre sens, la base d'une politique énergétique pour le Québec surtout dans la vision d'une intégration de celle-ci à une politique de développement économique.

Sans nier les possiblités et la nécessité, pour une politique énergétique, de rechercher une amélioration de l'intégration de ces sources énergétiques à l'économie québécoise, nous préférons porter notre attention vers un horizon où:

- le pétrole sera redevenu une source énergétique chère et relativement rare;
- le potentiel hydro-électrique du Québec sera en voie d'être totalement utilisé;
- le gaz naturel commencera à susciter les mêmes inquiétudes de coût et de disponibilité que le pétrole au cours des années '70.

Sans qu'il soit possible de le situer avec précision, un tel horizon n'est cependant pas lointain et c'est pour cette échéance que des choix doivent être faits dès maintenant.

. D'autre part, en plus des conditions déjà mentionnées au niveau d'une politique de développement économique, les filières énergétiques de l'avenir devront apporter une solution valable non seulement comme énergie mais aussi comme carburant en étant efficacement transformables en devises énergétiques versatiles.

Ceci implique que ces filières devront pouvoir satisfaire des besoins non seulement de type personnalisés mais aussi des besoins collectifs d'envergure.

. Enfin, pour pouvoir être réaliste, un choix d'énergies nouvelles pour une politique doit se limiter à quelques possibilités et se restreindre à des options qui présentent des caractéristiques minimum de faisabilité.

ORIENTATIONS PROPOSÉES POUR
LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE
DU QUÉBEC

LES PRINCIPES

Pour l'horizon considéré, les principes à retenir pour une politique énergétique devraient permettre de donner une priorité au développement économique et d'intégrer la politique énergétique comme outil d'une politique de développement.

De ce choix il découle que la politique énergétique devrait favoriser:

- l'exploitation de sources renouvelables et localisées au Québec;

- l'exploitation de sources énergétiques utilisables à d'autres usages que la seule production d'une devise énergétique, c'est-à-dire pouvant être utilisées comme matières premières dans plusieurs industries de transformation;

- des filières longues entre la source et la devise énergétique en découlant. En particulier, la devise énergétique dominante devrait offrir des caractéristiques de versatilité à des usages différents soit pour son pouvoir calorifique direct soit comme matière première dans des processus de transformation ou, enfin, comme moyen de créer d'autres devises;

- des filières (source-devise) permettant que la devise soit susceptible de stockage et transport faciles et soit susceptible, également, de servir de carburant permettant ainsi non seulement de satisfaire des besoins de types personnalisés mais aussi des besoins collectifs d'envergure.

Ces principes doivent être mis en oeuvre par rapport à des options qui, bien sûr, paraissent techniquement et économiquement réalistes sans oublier que cette contrainte a pour pendant l'intérêt de développer des technologies nouvelles, exportables et susceptibles de générer des complexes industriels nouveaux.

LE CHOIX

Des sources comme l'énergie solaire, éolienne, géothermique, l'énergie des océans ou de la fission nucléaire présentent un intérêt évident et ne doivent pas être négligées.

Cependant, en terme de système énergétique global elles n'offrent pas tous les avantages requis, à l'horizon des deux prochaines décennies, pour servir de piliers à une politique énergétique du Québec. Le défi d'une politique énergétique est de définir une voie qui, en terme de développement, aura une incidence comparable à celles du charbon et du pétrole dans le passé d'une part. D'autre part, le Québec se doit de faire reposer les choix sur des éléments qui lui sont propres, sur ses forces.

À cet égard, la biomasse et une filière électricité-hydrogène présentent les avenues les plus prometteuses.

En particulier l'hydrogène semble de plus en plus se dégager comme la devise énergétique de l'avenir, sans doute à l'échelle mondiale.

Il n'est pas besoin d'insister sur le fait que, pour une politique énergétique retenant la biomasse et une filière électricité-hydrogène, le Québec dispose d'atouts de départ:

- absence d'autres sources intégrables au développement local;
- importance des potentiels de biomasse et ressources hydrauliques harnachables;
- avance technologique prise en matière des techniques de production et transport de l'hydro-électricité;
- avance technologique détenue pour l'électrolyse et la production d'hydrogène électrolytique.

En regard des principes précédemment énoncés, il convient de souligner que la biomasse offre l'avantage d'une source énergétique présentant des usages diversifiés:

- le passage d'une exploitation des forêts à une gestion globale de la biomasse est susceptible de permettre des changements technologiques améliorant l'approvisionnement des industries des pâtes et papiers et celles des bois et de ses dérivés. Elle pourrait se révéler une approche en mesure de compenser, au niveau de la compétitivité, la fragilité de l'industrie locale face à celles de l'étranger qui pourront se baser à long terme sur des essences forestières à croissance rapide;
- elle peut être source d'énergie calorifique directe;
- elle peut être stockée et transportée sous des formes diverses;
- elle peut générer une gamme de carburants d'appoint et de produits chimiques utilisables dans d'autres processus;
- elle est compatible avec une filière électricité-hydrogène.

Pour sa part l'hydrogène présente un intérêt considérable car même s'il est une devise ses utilisations dépassent largement son pouvoir calorifique. Par rapport à l'électricité, l'hydrogène est un moyen de lui redonner une versatilité d'usages que l'électricité n'a pas par elle-même; c'est donc un moyen de la valoriser pour son utilisation dans des industries diverses, comme matière première. En particulier:

- production d'ammoniac et de fertilisants;
- production de méthanol, d'alcools supérieurs, d'hydrocarbures légers, de pétrole synthétique;

- réhabilitation des huiles lourdes dans les raffineries;
- transformation des huiles animales et végétales;
- réduction du minerai de fer, production hydrométallurgique du cuivre;
- source d'énergie calorifique directe;
- carburant pour les véhicules de transport;
- transport, par pipeline, d'hydrogène de l'électricité générée par des centrales hydro-électriques lointaines;
- stockage des surplus d'électricité;
- regénération de l'électricité par des piles à combustible;
- .../...

L'hydrogène est un élément chimique fondamental utilisé dans une multitude de reactions et d'industries. En particulier, le tableau en annexe sur les utilisations de l'hydrogène indique que cet élément est largement utilisé dans les raffineries et en pétrochimie.

Enfin, il faut souligner que, dans un système énergétique global, l'hydrogène peut jouer un rôle fondamental au niveau de l'interchangeabilité des formes primaires d'énergie. Hors les hydrocarbures, les autres sources d'énergie primaires (biomasse, énergie éolienne, géothermique, fission nuéclaire, hydraulique, ...) ne sont pas susceptibles de permettre un stockage de l'énergie qu'elle fournissent. La devise pour utiliser leur potentiel énergétique, est essentiellement l'électricité qui elle-même n'est pas stockable.

Par contre, l'hydrogène lui est facilement stockage, transportable et retransformable en énergie sous forme calorifique directe, carburant ou électricité (1). Il constitue donc une devise énergétique flexible qui peut être obtenue de multiples sources primaires d'énergie et qui permet de disposer de cette énergie au lieu, moment, quantité nécessaire et sous des formes diverses.

En ce sens, l'hydrogène est une clé de voûte de l'interchangeabilité entre les formes primaires d'énergie.

(1) Cependant la regénération d'électricité à partir de piles à combustible utilisant l'hydrogène ne fournit pas, actuellement, un rendement énergétique acceptable.

LA BIOMASSE

Par ce terme nous considérons essentiellement ici, la biomasse dite forestière ainsi que les tourbières. D'autres formes de biomasse comme les productions agricoles, les déchets urbains et animaux, offrent des perspectives intéressantes mais se prêtent moins à l'élaboration d'une nouvelle base énergétique pour l'économie du futur.

La biomasse, surtout forestière, présente l'attrait d'une source énergétique renouvelable, donc propice pour un développement à long terme. Elle est abondante, se présente sous formes diverses et peut se prêter à une variété d'usages.

Le principal avantage de recourir à la biomasse réside dans la possibilité de concevoir un système énergétique et industriel diversifié et souple, qui s'appuie sur une ressource dont la technologie d'exploitation est maîtrisée localement (forêt) ou par d'autres pays (tourbe - URSS, ...).

Le passage d'une approche considérant la forêt (pour l'exploitation forestière aux fins des scieries et pulperies) à une autre portant sur la biomasse permettrait de récupérer des quantités énormes d'énergie et favoriserait sans doute une évolution technologique profitable aux industries exploitant actuellement la forêt.

Outre cette incidence, la biomasse peut offrir des possibilités au niveau des biotechnologies, de l'industrie chimique, des carburants,... Elle offre également une capacité de production directe d'énergie sous diverses formes.

De plus, la biomasse est essentiellement concentrée dans des régions facilement accessibles. Dans les régions éloignées, elle pourrait servir de point de départ pour des sous-systèmes locaux ou régionaux autonomes qui limiteraient les besoins d'infrastructures lourdes pour l'acheminement à ces endroits des autres formes d'énergie.

Cependant, la biomasse pose de nombreux problèmes scientifiques et technologiques avant de pouvoir être une contribution à une politique énergétique ou au développement économique du Québec.

En raison des perspectives qu'elle offre sur le plan énergétique comme ressource renouvelable avec une gestion appropriée,

en raison de la contribution à l'assainissement de la situation des approvisionnements des industries exploitant la forêt que pourrait constituer une gestion intégrée de la biomasse,

en raison des innovations technologiques qui sont envisageables de façon raisonnable,

la biomasse devrait être considérée comme un élément de base d'une politique énergétique à long terme du Québec et, en conséquence, des programmes gouvernementaux de support financier et technique à la recherche, au développement et à la démonstration se rapportant à la gestion et l'exploitation de la biomasse devraient être rendus disponibles par le Gouvernement du Québec.

L'HYDROGÈNE

À proprement parler l'hydrogène n'est pas une source d'énergie mais une devise énergétique. En effet, l'hydrogène doit être produit.

Cependant, c'est un élément qui est largement utilisé dans de nombreuses industries et dont l'usage s'accroitra avec une disponibilité accrue à un prix réduit.

De plus, il est utilisable efficacement comme carburant et sert déjà dans les programmes spatiaux. Même s'il est peu avantageux de produire de l'hydrogène afin de ne se servir que de sa valeur calorifique, l'hydrogène se prête à des usages alternatifs permettant des changements de forme d'énergie et de stockage de celle-ci:

- ainsi l'hydrogène peut servir à utiliser la capacité excédentaire (quotidienne, hebdomadaire ou saisonnière) d'un réseau de centrales hydro-électriques pour transformer l'électricité en devise énergétique stockable;

- il peut servir au transport par pipeline d'hydrogène de la production de centrales hydro-électriques éloignées;

- l'hydrogène peut être utilisé dans des piles à combustible pour regénérer l'électricité.

L'hydrogène est la clé de voûte de toute interchangeabilité entre les formes primaires d'énergie et il est donc un facteur critique dans toute politique énergétique. Il peut être produit suivant des techniques et des sources énergétiques très diverses, dont l'électrolyse.

Grâce aux percées technologiques de la Compagnie Electrolyser, le Québec bénéficie actuellement d'une avance dans la domaine de l'électrolyse de l'eau pour la production de l'hydrogène.

À divers degrés les questions de production, transport, stockage et liquéfaction de l'hydrogène font, depuis assez longtemps, l'objet de recherches de plus en plus avancées.

Actuellement, plusieurs systèmes sont soit en exploitation commerciale soit au stade de la démonstration.

Au niveau de l'avenir énergétique, plusieurs spécialistes et comités s'étant penchés sur la question concluent que celui-ci reposera sur une filière associant l'électricité (produite de différentes sources) et l'hydrogène.

L'importance accordée à l'hydrogène repose sur la conviction que l'infrastructure d'un système d'énergie basé sur l'hydrogène restera la même quelle que soit la solution énergétique (source primaire) qui deviendra à long terme la principale source d'approvisionnement.

En plus de ses avantages comme devise énergétique, l'hydrogène offre l'opportunité de développements économiques considérables, car:

- il est utilisé et utilisable dans de nombreuses industries;

- il générera toute une technologie nouvelle au niveau de sa production, son transport et son stockage à l'échelle d'unités commerciales;

- il s'associera à de nouvelles technologies de pointe comme les piles à combustible et l'industrie spatiale.

C'est donc toute une industrie qui se rattachera, dans un proche avenir, au développement des utilisations de l'hydrogène. Avec ses réserves importantes de biomasse et d'hydro-électricité, le Québec dispose d'atouts majeurs pour participer au développement de cette nouvelle industrie.

En faisant de l'hydrogène et d'une filière énergétique électricité-hydrogène le point central de sa politique énergétique, le Québec pourrait favoriser la création d'un secteur énergétique et d'une industrie qui seraient aussi bien intégrés à son économie que l'est actuellement l'hydro-électricité et bénéficier de retombées considérables.

Ce potentiel économique de l'hydrogène pour le Québec réside dans l'intérêt que présentera l'hydrogène sous forme de technologie exportable et de développement de systèmes de production, notamment par électrolyse, de stockage et transport. Le passage à un stade commercial de techniques maîtrisées au stade expérimental ou de démonstration constituera un impact économique d'envergure. Ces technologies et expertises sont déjà largement disponibles et développables localement. Il est à noter que la mise en oeuvre de ces technologies est indépendante de la source primaire de production d'hydrogène d'une part. D'autre part, la variété des utilisations de l'hydrogène et la possibilité de disposer d'hydrogène à un prix compétitif permettraient soit le raffermissement d'industries existantes (raffinerie, pétrochimie, sidérurgie) soit la création de nouvelles lignes de production ou industries (ammoniac, pétrochimie, chimie, ...).

Il faut considérer que l'engagement dans une économie de l'hydrogène se traduira par la création de systèmes industriels nouveaux de grande taille: pipelines, systèmes de compression et liquéfaction, cuves et technologies de stockage, flottes de transport, ...

Les investissements impliqués sont considérables comme en font foi les projets de démonstration élaborés en 1981 et présentés en annexe.

Pour s'inscrire dans cette évolution majeure, le Québec se doit cependant de consacrer dès maintenant des moyens importants pour favoriser l'implantation de projets de recherche, développement et démonstration notamment par:

- l'utilisation de l'électricité, au niveau de blocs pouvant correspondre à des excédents de capacité, de façon à permettre l'implantation de projets de démonstration ou commerciaux. Grâce à des tarifs préférentiels utilisés déjà pour des industries consommatrices de grandes quantités d'énergie, il serait possible de rendre dès maintenant la production électrolytique de l'hydrogène compétitive avec d'autres modes de production;

- l'encouragement à la création et l'exécution de programmes de R & D et démonstration sous l'égide du Conseil de l'Industrie de l'Hydrogène ainsi qu'à la formation de consortiums développant des systèmes technologiques basés sur l'hydrogène et présentant des possibilités d'exportation;

- l'appui à la création d'un centre de recherche en électro-chimie qui permettrait d'appuyer les efforts de l'industrie québécoise qui détient déjà certaines avances technologiques dans le domaine de l'électrolyse.

RECOMMANDATIONS

- Le renversement des tendances dans le marché pétrolier peut remettre en cause de nombreux efforts de développement de nouvelles filières et technologies énergétiques, en repoussant l'horizon de rentabilisation de ces investissements;

- Une politique énergétique isolée ne s'accompagnera pas forcément d'un renforcement et d'une diversification de la base économique du Québec étant donné que le coût de l'énergie n'est d'une grande importance que pour un nombre réduit de produits.

- Une politique énergétique devrait s'inscrire comme élément d'une politique de développement économique et devrait privilégier l'apparition de filières énergétiques conduisant à:

  . accentuer le développement de technologies de pointe, exportables;

  . engendrer des complexes industriels nouveaux.

  Ces filières énergétiques devraient privilégier, comme sources primaires, des sources d'approvisionnement renouvelables et disponibles au Québec.

  Sur cette base, une politique énergétique pourrait non seulement esquisser le futur énergétique qui prendra la relève des sources actuelles que sont le pétrole, l'hydro-électricité et le gaz naturel mais aussi s'assurer que l'industrie du futur soit aussi bien intégrée à l'économie du Québec que peut l'être actuellement l'hydro-électricité.

- Il semble approprié que l'investissement du gouvernement du Québec en matière de nouvelles technologies reliées à l'énergie se concentre dans deux secteurs:

. la biomasse;

. l'hydrogène et une filière électricité-hydrogène.

- Le gouvernement devrait favoriser l'élaboration de programmes de recherche, développement et démonstration pour l'utilisation de la biomasse et fournir son support financier et technique à ces programmes;

- le gouvernement devrait mettre à la disposition d'industries travaillant à la réalisation de programmes de démonstration et d'exploitation commerciale de l'hydrogène des blocs d'énergie électrique à des tarifs préférentiels;

- le gouvernement devrait encourager l'effort de concertation de l'industrie, au sein du Conseil de l'Industrie de l'Hydrogène, à créer et exécuter des programmes de R & D et D;

- le gouvernement devrait encourager la formation de consortiums développant des systèmes technologiques reliés à l'hydrogène et présentant des possibilités d'exportations;

- le gouvernement devrait appuyer la création d'un centre de recherche en électro-chimie.

- le gouvernement devrait, non seulement fournir un support technique et financier direct mais aussi et surtout favoriser les activités de Recherche, Développement et Démonstration reliés à l'hydrogène par une accentuation des incitatifs fiscaux actuels reliés à la R D & D et faire les représentations nécessaires auprès du gouvernement du Canada en ce sens.

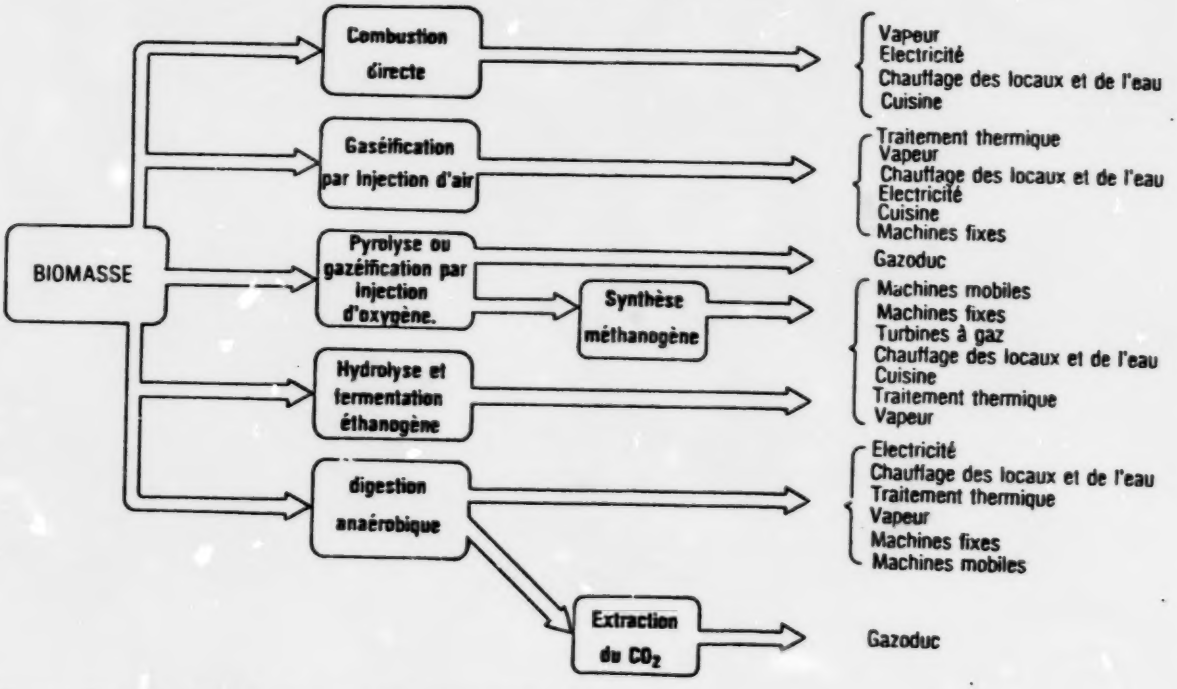
Cette accentuation des incitatifs fiscaux à la R-D & D pourrait prendre la forme de ceux déjà mis en vigueur en faveur de l'exploration pétrolière d'une part.

D'autre part, il y aurait lieu de permettre aux particuliers de bénéficier des incitatifs fiscaux à la R-D & D ouverts aux corporations.

ANNEXES

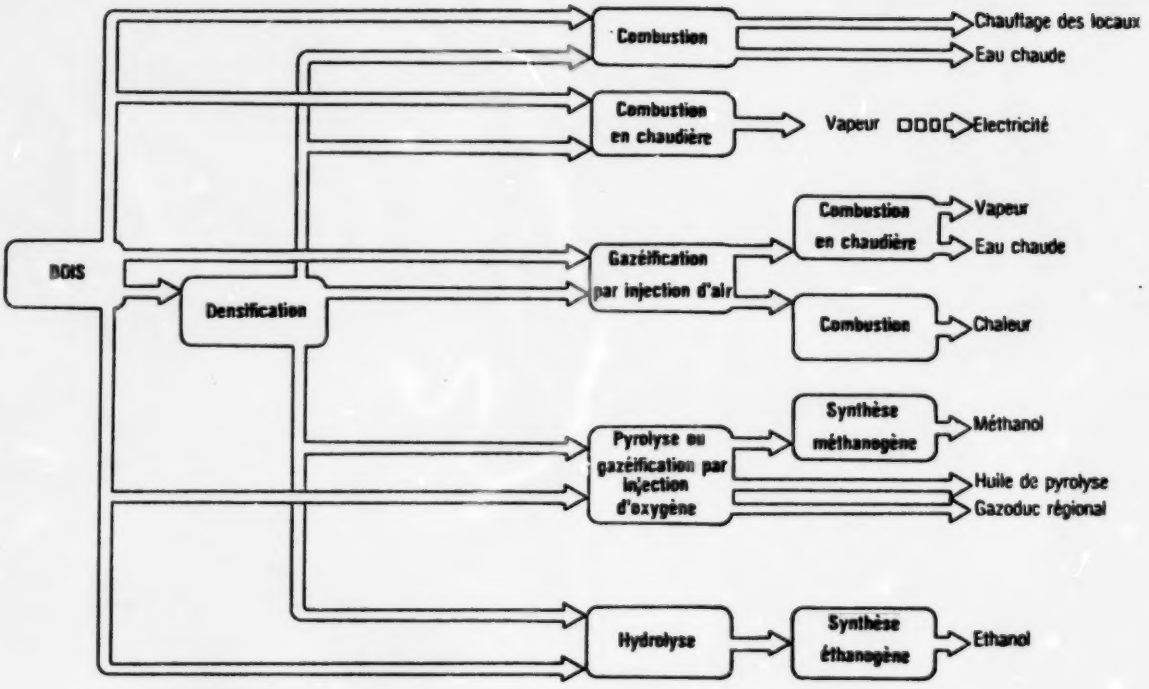
LA BIOMASSE

Figure 6-2: MODES D'EXPLOITATION ÉNERGÉTIQUE DE LA BIOMASSE



Source: États-Unis, Office of Technology Assessment, 1980, p. 24.

Figure 6-7: PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU BOIS



Source: États-Unis, Office of Technology Assessment, 1980, p. 64.

Figure 6-9: TOURBIÈRES D'AUJOURD'HUI, TERRES AGRICOLES DE DEMAIN

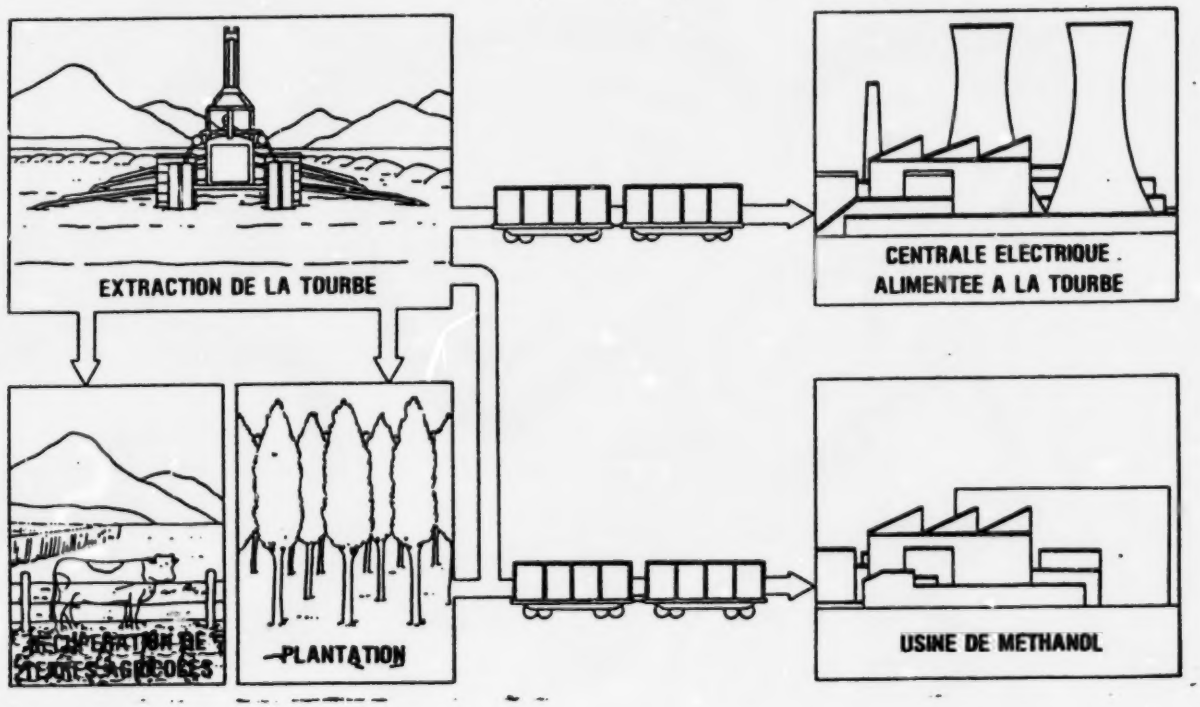


Fig. 5 - UTILISATION ET EXCÉDENT DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE AU QUÉBEC

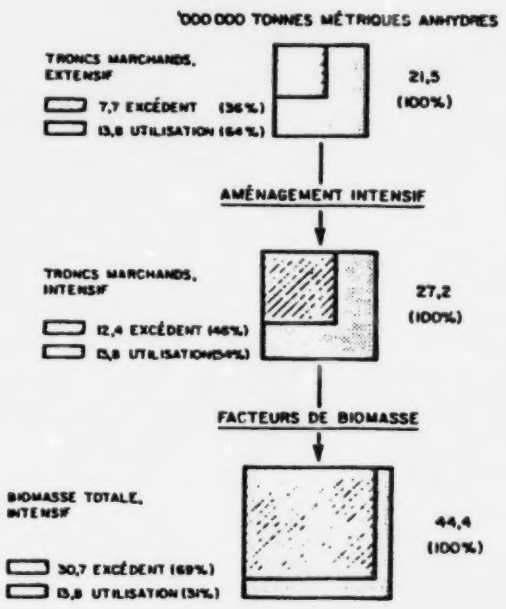


Fig. 6 - CAUSES ET NATURE DES PERTES DE BIOMASSE FORESTIÈRE, QUÉBEC 1980

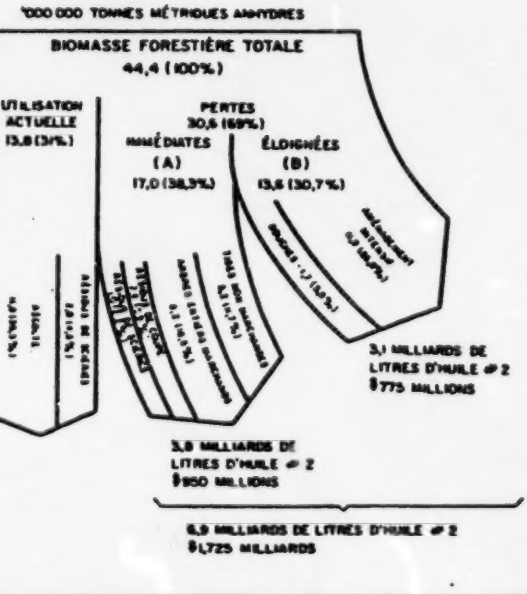


Fig. 7 - BIOMASSE FORESTIÈRE FACILEMENT ACCESSIBLE

PÉRIODE 1980 - 1990

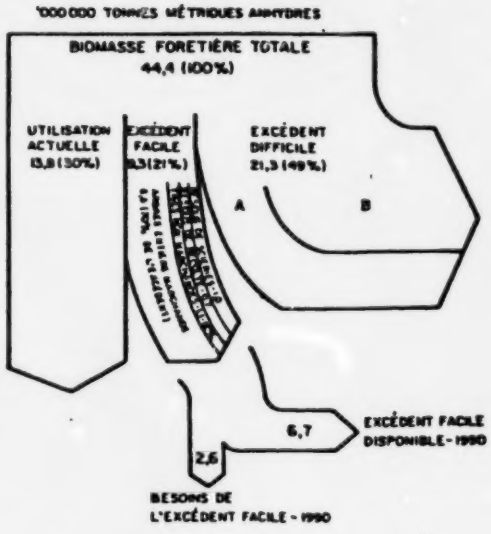
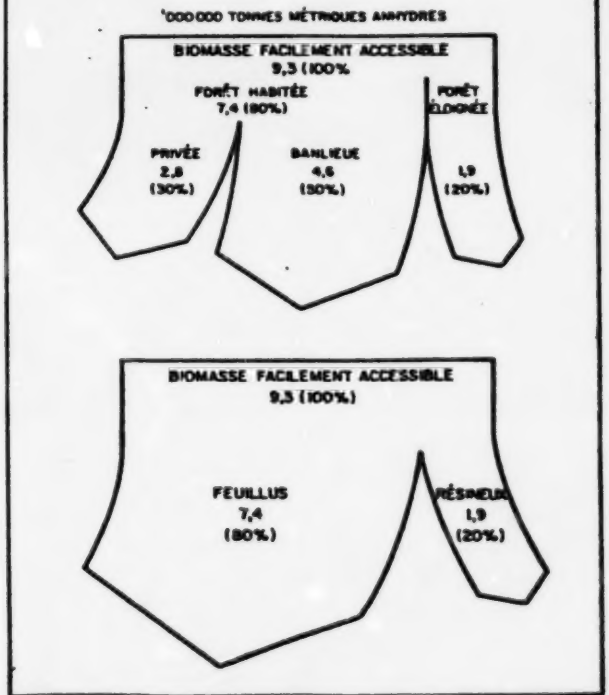


Fig. 8 - ORIGINE ET ESSENCE DE LA BIOMASSE ACCESSIBLE



L'HYDROGENE

La place de l'électricité et de l'hydrogène dans l'avenir énergétique du Canada

Deux devises énergétiques peuvent être tirées de toutes les différentes sources d'énergie que nous avons envisagées. Il s'agit de l'électricité et de l'hydrogène. Selon nous, ces deux devises devraient dominer le tableau énergétique du Canada dans le long terme parce qu'elles répondent aux critères que nous avons choisis en vue de déterminer l'orientation que devrait prendre une nouvelle politique énergétique.

- Nous avons été guidés en tout premier lieu par la nécessité d'encourager les *économies* d'énergie. De tels encouragements devraient être prodigués, quel que puisse être le tableau énergétique, et ils devraient tendre tout simplement à une utilisation judicieuse et efficace de l'énergie.

- Selon le second principe énoncé par nous, l'énergie devrait être tirée des *sources renouvelables* ou *inépuisables*. Les énergies éolienne, géothermique, hydro-électrique, marémotrice, de la biomasse, solaire et nucléaire répondent toutes à ces critères. (Des organismes vivants et des systèmes biomimétiques — systèmes qui copient les réactions chimiques des organismes vivants — peuvent également être développés en vue de la production de l'hydrogène.)

- En troisième lieu, toutes les sources d'énergie mentionnées (à la seule exception de l'énergie nucléaire, car les risques qu'elle fait courir à l'environnement n'ont pas encore été selon nous déterminés de manière satisfaisante) ne présentent guère de *risque pour l'environnement;* il en est de même des devises qui en proviennent (l'hydrogène et l'électricité) et des produits résultant de la «combustion» de ces devises (l'eau et la chaleur de faible qualité).

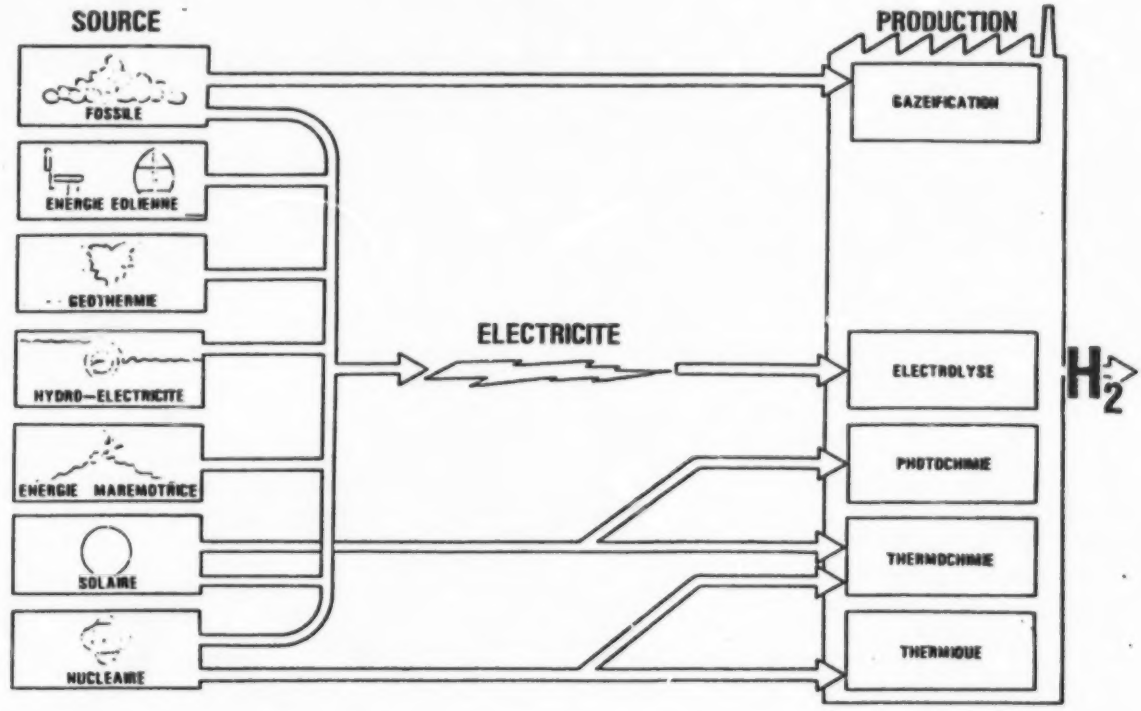
- Quatrièmement, la variété des sources d'énergie, la diversité des méthodes de production, les solutions applicables en matière d'entreposage et de transport, ainsi que toute la gamme des utilisations finales possibles pour ces devises énergétiques permettent l'élaboration d'un système qui, sans nul doute, sera très *souple*. (A cet égard, il est également important de remarquer qu'il est possible *de convertir* l'électricité en hydrogène et inversement en se servant de l'électrolyse ou de piles à combustible, ce qui contribue à augmenter encore la souplesse de cette filière énergétique.)

- Cinquièmement, les ressources nécessaires à la production de l'hydrogène et de l'électricité sont abondantes au Canada, ce qui nous offre la possibilité de devenir complètement autosuffisants au plan de l'énergie, nous débarrassant ainsi de toutes *préoccupations stratégiques*.

- Sixièmement, la flexibilité de ce système et la large gamme des sources potentielles d'énergie à travers tout le pays garantissent que le Canada pourra atteindre une *diversité régionale* en ce qui a trait à la gestion de l'approvisionnement et de la demande en énergie.

- Septièmement, il en résulterait d'excellents *avantages sociaux;* en effet, la filière énergétique fondée sur l'hydrogène et l'électricité polluerait moins que notre système actuel, un tel tableau énergétique créerait des emplois à l'échelle de tout le pays et engendrerait des retombées favorables au plan de la technologie et de l'économie, grâce aux exportations de nouvelles technologies canadiennes.

Figure 4-6: L'HYDROGÈNE: UNE DEVISE ÉNERGÉTIQUE DE L'AVENIR



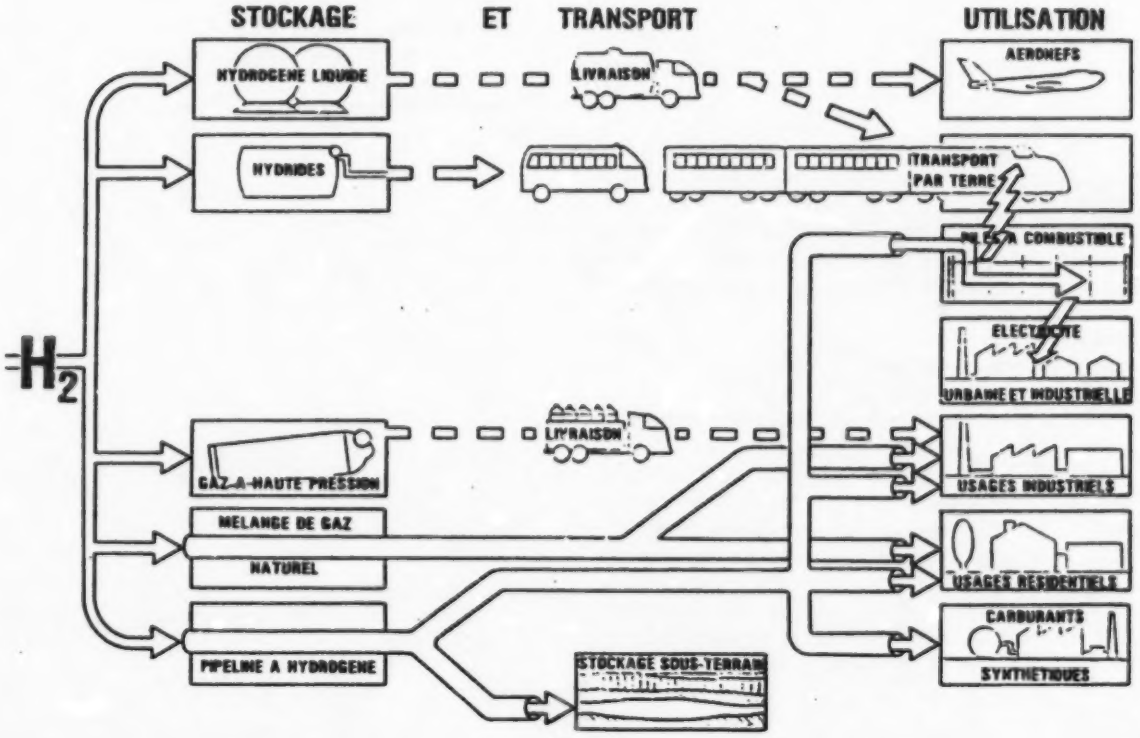
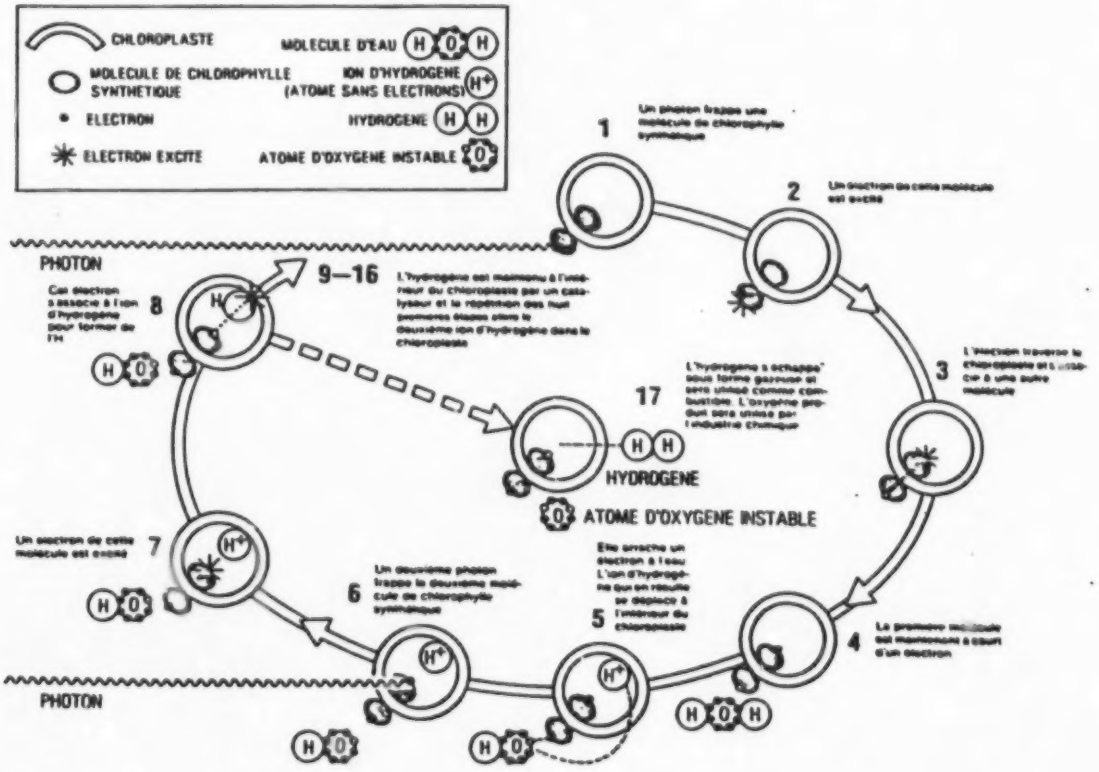


Figure 6-21: UNE MÉTHODE BIOMIMÉTIQUE DE PRODUCTION DE L'HYDROGÈNE



Source: D'après Weintraub, 1981, p. 37.

TABLEAU 2

LA COMPARAISON DES COÛTS DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE DE 50 TONNES PAR JOUR D'HYDROGÈNE

SYSTÈME	ÉLECTROLYSE TRADITIONNELLE	ÉLECTROLYSE NOUVELLE	REFORMAGE	OXYDATION PARTIELLE	GAZÉIFICATION
Source d'énergie	HYDRO	HYDRO	GAZ NATUREL	MAZOUT	CHARBON
Investissement $/kW ¢/m^3 H_2/an	415	180	7.6	16.2	
Énergie requise kWh/m^3 MJ/m^3	4.6	4.2	17.0	20.7	
Efficacité énergétique %	75	81	73	62	60-65
Coût de l'hydrogène ¢/m^3					
Capital	4.8	1.9	1.6	3.2	8.0
Énergie	7.8	7.2	5.3	6.6	2.0
Exploitation	1.3	0.7	0.6	1.1	1.5
Total	13.9	9.8	7.5	10.9	11.5
Crédit du sous-produit oxygène	1.8	1.8			
Coût net ¢/m^3	12.1	8.0	7.5	10.9	11.5

BASE: 1) Le gaz naturel à $3.00/GJ ($3.30/10^3 pcs)
2) L'huile résiduelle à $3.20/GJ ($20/baril)
3) L'électricité à $4.71/GJ (1.7¢/kWh)
4) Dépenses annuelles de capital à 20%
5) Facteur de capacité de l'usine à 90%
6) Tous les coûts exprimés en dollars canadiens 1981

SOURCE: Rapport sectoriel "Techniques de production de l'hydrogène"

TABLEAU 6

LES UTILISATIONS DE L'HYDROGÈNE

INDUSTRIES	UTILISATION
Chimie	Ammoniac
	Méthanol
	Produits plus nobles
	Peroxyde d'hydrogène
Raffineries	Hydrocraquage
	Hydrodésulfurisation
	Désalcoylation du toluène
	Isomérisation des xylènes
	Hydrotraitement
	Hydrogénation catalytique
	Cyclohexane
Pétrochimie	Alcools
	Poly-oléfines
	Hydrotraitement des C_4
	Aniline
	Caprolactam
	Dérivés du procédé OXO
	Tetra-hydro-furane
Autre	Hydrogénation des huiles
	Traitement des métaux
	Produits pharmaceutiques
	Semi-conducteurs
	Hydrogène commercial

SOURCE: Rapport sectoriel "Utilisation de l'hydrogène"

TABLEAU 7

UNE ESTIMATION COMPARATIVE DU RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE
POUR L'ENTREPOSAGE DE L'HYDROGÈNE SOUS FORME LIQUIDE

SOURCE D'ÉNERGIE	LA FORME D'ENTREPOSAGE	RENDEMENT Z	
		DIESEL/TURBINE À GAS	PILE À COMBUSTIBLE
Gaz naturel	Hydrogène liquide	18.7 (a x d x f x j)	25.8 (a x d x f x h)
	Méthanol	25.0 (b x k)	24.8 (b x c x h)
Hydro-électricité	Hydrogène liquide	20.0 (g x d x f x j)	27.6 (g x d x f x h)
	Méthanol	20.0 (g x e x k)	19.8 (g x e x c x h)

LES EFFICACITÉS ASSUMÉES POUR LES ÉTAPES

a) Gaz naturel à Hydrogène	75%	g) Électricité à Hydrogène	80%
b) Gaz naturel à Méthanol	75%	h) Hydrogène à Électricité (Pile à combustible)	46%
c) Méthanol à Hydrogène	72%	j) Hydrogène à Électricité (Diesel/Turbine à gaz)	33%
d) Hydrogène à Hydrogène liquide	75%	k) Méthanol à Électricité (Diesel/Turbine à gaz)	33%
e) Hydrogène à Méthanol	75%		
f) Hydrogène liquide à Hydrogène	100%		

SOURCE: Le Groupe SNC

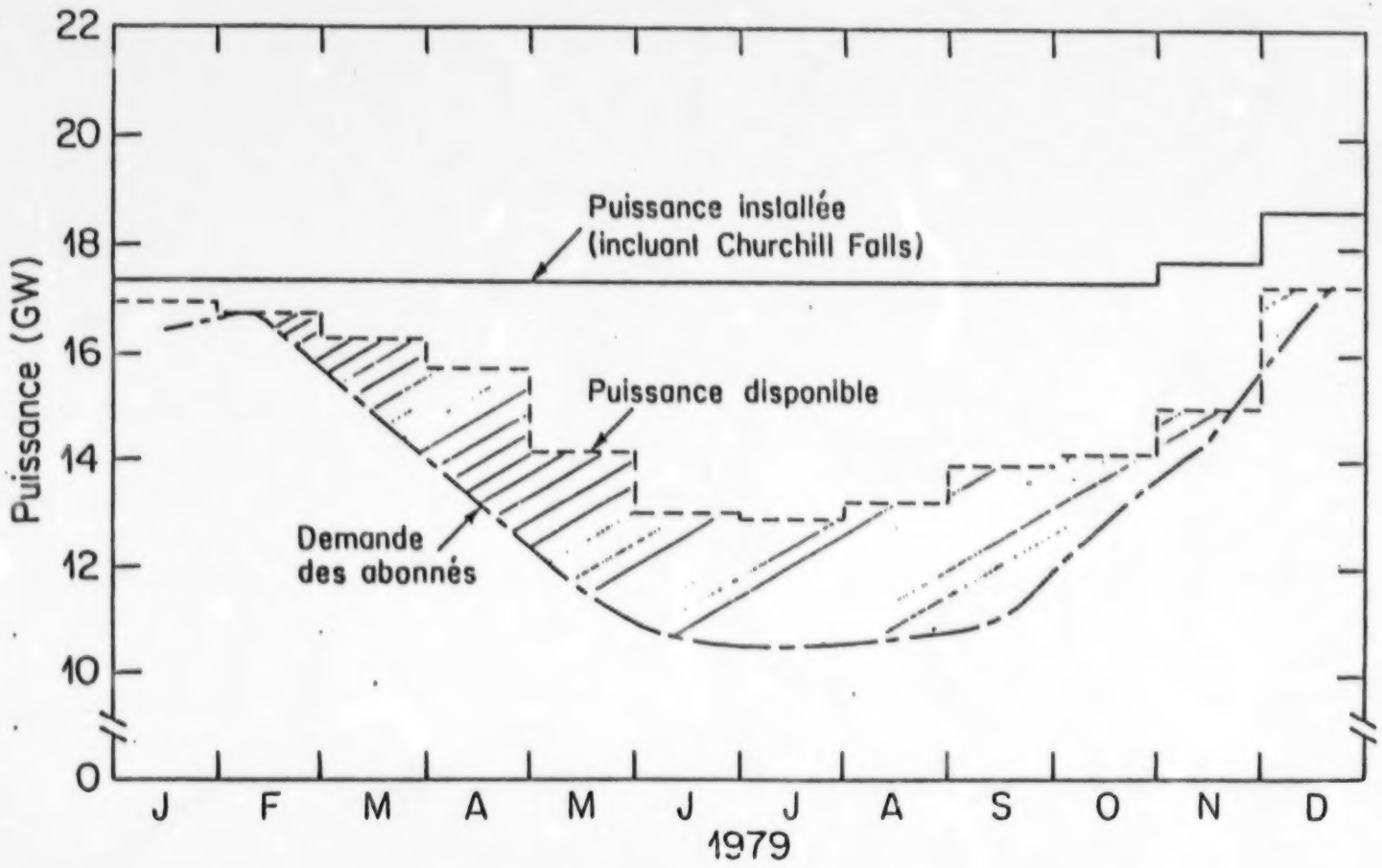


FIGURE 3: Répartition pour 1979 de la demande, de la puissance disponible et de la puissance installée

SOURCE : Rapport sectoriel "Stockage de l'électricité par l'hydrogène"

TABLEAU 8

Coûts d'immobilisation du stockage de l'électricité

ÉQUIPEMENT	HEBDOMADAIRE : 24 x 10^3 MWh			SAISONNIER : 2,19 x 10^6 MWh		
	PUISSANCE MW	VOLUME l	COÛT M $	PUISSANCE MW	VOLUME l	COÛT M $
ÉLECTROLYSE	2 000		600 - 800	2 000		600 - 800
HYDROGÈNE LIQUIDE	370 - 470	2,04 x 10^7	30	370 - 470	1,86 X 10^9	200
BENZÈNE-CYCLOHEXANE		2,30 x 10^7	11		2,07 x 10^9	985
PILE À COMBUSTIBLE	2 000		1 000	2 000		1 000
RÉSERVE POMPÉE	2 000		1 400			
SURÉQUIPEMENT	2 000		1 500			
TURBINE À GAZ	2 000		600			

SOURCE: Rapport sectoriel "Stockage de l'electricité par l'hydrogène"

TABLEAU - 9

DEMANDE EN HYDROGÈNE NON CAPTIF PAR LES RAFFINERIES DU QUÉBEC

	Demande annuelle moyenne (million de m^3/Jour)			Potentiel de pénétration de l'H_2 électrolytique (MW)
	Raffinage traditionnel	Valorisation des résidus	Total	
1981	1.8	-	1.8	-
1985	2.3	1.5	3.8	-
1990	2.9	3.0	5.9	115
1995	4.3	3.0	7.3	210
2000	6.3	3.0	9.3	360

SOURCE: Rapport sectoriel "Aperçu du marché pour l'hydrogène au Québec"

TABLEAU 10

APERÇU DU MARCHÉ DE L'AMMONIAC AU QUÉBEC

	DEMANDE ANNUELLE 10^3 TONNES D'AMMONIAC			
	1980	1985	1990	2000
Produits chimiques divers	45	56	73	118
Pâtes et papiers	17	17	17	17
Métallurgie spécialisée	10	20	40	163
Agriculture	72	105	153	205
Sylviculture	7.8	8.9	14.5	44
Autres	3	3		
TOTAL	154.8	209.9	297.5	547
Équivalent en hydrogène (10^3 tonnes)	27.4	37.0	52.5	96.5
Équivalent en électricité (10^3 MWh)	1500	2040	2890	5320
Équivalent en gaz naturel (10^3 Mpc)	5600	7590	10750	19800

SOURCE: Rapport sectoriel
"Aperçu du marché pour l'hydrogène au Québec"

TABLEAU 11

UTILISATION DE L'ÉNERGIE AU QUÉBEC

APPLICATION	TOTAL	(en terajoules = 10^{12} joules) ÉLECTRICITÉ	GAZ NATUREL	PÉTROLE ET AUTRES*	% NON-DÉRIVÉS DU PÉTROLE
Industries	468,197	177,426	69,563	221,208	52.8
Domestique	293,119	98,406	15,633	179,080	39.
Commerces/Institutions	155,973	58,086	16,932	80,955	48.
Administration publique	28,620	12,859	763	14,998	48.
Agriculture	22,373	5,811	-	16,562	26.
Transports	430,000				
Automobiles				258,000	0
Autres transports routiers				107,500	0
Transports maritimes				34,400	0
Transports aériens				30,100	0
TOTAL	1,398,282	352,588	102,891	942,000	

(*) Autres: 20,000 Terajoules de charbon, de GPL, et de coke.

Source: Statistique Canada (Communication privée), et Centre de Recherche Noranda.

SOURCE: Rapport sectoriel "Aperçu du marché pour l'hydrogène au Québec"

47

10.

TABLEAU 12

CARACTÉRISTIQUES DES TRANSPORTEURS AÉRIENS PROPULSÉS À L'AIDE DE NOUVEAUX CARBURANTS ALTERNATIFS

(Appareil subsonique, 400 passagers, rayon d'action = 10200 km)

	HYDROGÈNE LIQUIDE	MÉTHANE LIQUIDE	KÉROSÈNE SYNTHÉTIQUE
Poids net (kg)	169,000	226,000	232,000
Poids de carburant (kg)	22,000	59,000	73,000
Surface d'aile (m^2)	297	385	380
Envergure d'aile (m)	52	59	59
Longueur du fuselage (m)	66	61	60
Consommation de carburant ($\frac{kg}{n}$ / deca N)	0.206	0.504	0.615
Coût estimatif de l'appareil (millions $ US 1978)	43	48	44
Coût d'exploitation (¢ US 1978/siège-km)	0.869	0.831	0.907
avec refroidissement de la de la couche limite	0.685	-	-
Émissions	H_2O, NO_x	CO_x, SO_x, NO_x, HC, H_2O, fumée	CO_x, SO_x, NO_x, HC H_2O, fumée

* **BASE:** à partir du charbon: L CH_4 - $ 3.80/GJ
Synjet - $ 4.74/GJ
L H_2 - $ 5.69/GJ

SOURCE: Lockheed Corporation

TABLEAU 14

ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE DE L'HYDROGÈNE

Domaine	Technologie établie	Nouvelle technologie		
	Industriel	Démonstration	Développement	Recherche
PRODUCTION				
+ Gas naturel	x			
+ Pétrole	x			
+ Charbon	x	x	x	
+ Electrolyse conventionnelle	x	x		
avancée		x	x	x
TRANSPORT				
+ Gaz	x	x		
+ Liquide		x		
STOCKAGE				
+ Gaz	x			
+ Liquide	x			
+ Hydrures		x	x	x
UTILISATION				
+ Ammoniac	x			
+ Méthanol	x			
+ Métallurgique			x	x
+ Transport				
- aérien			x	x
- ferroviaire			x	x
- routier		x	x	x
+ Biomasse			x	x
+ Stockage de l'électricité			x	x
+ Piles à combustible		x	x	x

SOURCE: Institut de recherche d'Hydro-Québec

11.0 PROPOSITION D'UNE STRATÉGIE INDUSTRIELLE QUÉBÉCOISE BASÉE SUR L'HYDROGÈNE

11.1 L'occasion d'ordre économique

11.1.1 La position du Comité québécois de l'hydrogène liquide

La clef de la croissance à long terme de l'économie québécoise résidera forcément dans sa capacité d'exporter. On ne peut espérer que les exportations traditionnelles du Québec, pas plus que celles du reste du Canada, soient suffisantes pour assurer l'équilibre à long terme de la balance commerciale; seule la création de secteurs industriels modernes employant des technologies de pointe peut assurer l'expansion rapide des exportations nécessaires pour équilibrer la croissance probablement tout aussi rapide des importations.

Les membres du Comité québécois de l'hydrogène liquide sont convaincus que si le Québec et le Canada concentraient des ressources et des efforts dans un secteur industriel à haute technologie pour lequel le Québec possède certains avantages naturels et que les efforts soient amorcés longtemps avant que les compétiteurs éventuels ne prennent leur essor ailleurs dans le monde, le Québec pourrait acquérir une courbe d'expérience dans ce domaine industriel telle qu'il pourrait en devenir le site de base mondial et être un exportateur net de la technologie et des équipements reliés à ce domaine jusqu'à au moins la fin du siècle. C'est dans le domaine de l'hydro-électricité que le Québec possède des avantages très nets tant au point de vue canadien qu'au point de vue nord-américain et même jusqu'à un certain point, mondial. C'est dans ce secteur et dans les activités industrielles qui en découlent que l'on devrait concentrer les efforts.

Le Comité québécois de l'hydrogène liquide propose d'utiliser les avantages comparatifs spécifiques du Québec dans le domaine de l'hydro-électricité pour développer un secteur industriel qui pourrait assurer des exportations suffisantes pour contribuer de façon significative à la balance commerciale du Québec et du Canada dans les 15 à 20 prochaines années.

L'électricité produite par les grands barrages est soumise à certaines éventualités. Par exemple, lorsqu'un nouveau barrage ou une nouvelle turbine est mise en service, la quantité d'électricité disponible s'accroît d'un bloc souvent considérable. Par contre, la demande a plutôt tendance à croître de façon plus ou moins rapide mais constante. Ceci donne lieu à des disponibilités temporaires de grandes quantités d'électricité. Ces disponibilités sont décroissantes mais néanmoins très considérables. Dans le cas du Québec, on prévoit que la mise en marché du complexe de la Baie James créera des disponibilités de ce genre jusqu'à au moins 1992. En plus de ce phénomène, l'hydro-électricité est soumise à deux autres types de variations, soit des variations saisonnières et des variations journalières. Les pointes de demandes d'électricité ont lieu au plus fort de l'hiver mais le maximum de disponibilité d'eau dans les barrages a lieu lors de la fonte des neiges, au printemps, ce qui crée une disparité entre la disponibilité et la demande et qui oblige parfois les barrages à déverser leur surplus sans les utiliser. Finalement, la demande même pendant la période d'utilisation maximale varie au long de la journée et il y a même à ce moment-là, des périodes relativement creuses entre les pointes. Le déséquilibre entre disponibilité et demande représente un problème mais aussi une bonne occasion de développer une industrie basée sur l'utilisation des énergies hors pointe disponibles dans le système. C'est justement sur cette disponibilité hors pointe que nous voyons se baser le démarrage de l'industrie de l'hydrogène.

11.1.2 L'importance de l'hydrogène

L'hydrogène est un gaz qui peut être obtenu à partir de l'électrolyse de l'eau, mais aussi du gaz naturel, du pétrole, du charbon et de pratiquement toutes les autres sources d'énergie primaire. L'hydrogène n'est donc pas en soi une source d'énergie primaire mais une forme secondaire néanmoins extrêmement utile.

L'hydrogène peut être utilisé comme forme de stockage de l'énergie. C'est aussi un carburant d'excellente qualité et il peut être également utilisé comme matière première dans une série de procédés chimiques.

Comme forme de stockage énergétique, l'hydrogène produit en dehors des heures de pointe, à partir d'usines hydro-électriques, d'une usine marémotrice, ou de réacteurs nucléaires, peut être réutilisé pour augmenter la production d'électricité pendant les périodes de pointe, soit comme carburant dans les turbines à gaz ou même dans le futur comme carburant dans des piles à combustible.

C'est dans le domaine des transports que l'hydrogène jouera sans doute, directement ou indirectement, son rôle le plus important. L'hydrogène possède une valeur calorifique élevée par unité de poids, cependant la quantité d'énergie par unité de volume est moins grande que celle du pétrole, à cause de la faible densité de l'hydrogène. L'hydrogène comporte donc une pénalité de volume et un avantage de poids.

Dans l'aviation, une solution consiste à allonger l'avion pour accomoder les réservoirs d'hydrogène dans le corps même de l'avion. En principe, l'aérodynamique est peu affectée par la longueur de l'avion, par contre, l'utilisation de l'hydrogène représente une réduction de poids très considérable qui permettrait à ces avions d'obtenir des performances extrêmement intéressantes.

Dans le transport ferroviaire, le volume du carburant a peu d'importance puisqu'on peut facilement rajouter un ou plusieurs wagons-citernes. Il est aussi possible d'utiliser l'hydrogène dans le transport en commun par autobus dans la mesure où ceux-ci peuvent accommoder des réservoirs d'un volume considérable.

Encore une fois, l'utilisation de l'hydrogène comme carburant pour les bateaux ne représente en toute probabilité aucun problème insurmontable. En fait, le seul endroit où le volume serait un facteur important est probablement dans l'utilisation de l'hydrogène comme carburant pour des véhicules privés de petite cylindrée.

L'une des utilisations les plus intéressantes de l'hydrogène comme carburant se situe au niveau des grands projets hydro-électriques et autres grands projets où une source d'hydro-électricité y est intégrée (aluminerie, etc.). Un grand nombre de ces projets se situe dans des sites très éloignés où la distribution de carburant traditionnel devient extrêmement coûteuse. Par contre, il devrait être possible de faire fonctionner les équipements lourds tels tracteurs et autres, à l'hydrogène que l'on fabriquerait sur place à partir de turbines hydro-électriques appartenant au projet, dans la mesure, évidemment, où elles pourraient être mises en service assez tôt.

Dans toutes ses utilisations comme carburant, l'hydrogène possède certains avantages non négligeables à long terme, soit celui d'être pratiquement non polluant, inépuisable et non politisable puisque la plupart des pays pourraient éventuellement produire leur propre hydrogène à partir des ressources naturelles dont ils disposent le plus abondamment.

L'hydrogène est aussi à la base de plusieurs procédés chimiques dont la production d'engrais (ammoniac) qui permet l'accélération considérable de la croissance de la végétation et des arbres et pourrait représenter un intérêt certain pour le Québec. De plus, l'hydrogène est utilisé en grande quantité pour le crackage des pétroles lourds et leur transformation en essence.

11.1.3 Les possibilités pour l'hydrogène

À ce jour, il y a déjà un effort international qui est en route et qui vise à développer et à construire un avion supersonique à hydrogène. Ce groupe, que mène la Société Lockheed, comprend des représentants d'un bon nombre de pays dont la France, l'Angleterre, l'Allemagne, la Suisse, le Japon, l'Arabie Saoudite, les États-Unis et le Canada. Le Québec est présent au sein de la délégation canadienne par l'entremise du Comité québécois de l'hydrogène liquide. Selon la proposition de ce groupe de travail, avant d'être produits en série, un petit nombre d'avions à hydrogène seront testés sur un circuit comprenant quelques aéroports équipés pour les recevoir.

L'aménagement de l'aéroport de Mirabel, pour recevoir les prototypes de cet avion pendant leur période d'essai, pourrait déjà donner à l'industrie québécoise un savoir-faire très important, qui pourrait

être à la base d'un effort d'exportation future lorsque d'autres aéroports dans le monde voudront s'équiper à l'hydrogène. Il est fort probable que la grande partie de cette technologie développée en vue de la production, de la manutention et de l'entreposage de l'hydrogène liquide, puisse trouver un emploi auprès des autres liquides cryogéniques. L'existence d'un tel pôle de production d'hydrogène à Mirabel pourrait être intégrée aussi à d'autres projets de démonstration dans le domaine des transports et/ou d'un gazoduc pour desservir les raffineries les plus proches.

Jusqu'à maintenant, l'hydrogène, sauf pour les fusées interplanétaires, n'est pas encore compétitif comme carburant dans les systèmes de transport conventionnels, mais il faut comprendre que premièrement on parle de l'hydrogène produit à partir de l'électricité vendue au taux courant et d'une compétition avec des carburants encore relativement disponibles et bon marché. Dans le futur, les carburants naturels seront de moins en moins disponibles, les carburants synthétiques ne seront pas bon marché et le problème de la pollution cumulative de tous les carburants synthétiques, surtout de ceux dérivés du charbon, pourrait bien faire qu'à un certain moment, l'utilisation de l'hydrogène électrolytique devienne un "impératif" quel que soit le coût. Il y a de bonnes chances pour que l'hydrogène électrolytique devienne compétitif avec les autres carburants dans environ 15 à 20 ans. C'est justement pour que l'industrie québécoise atteigne une certaine maturité à cette date que le Comité propose la mise en oeuvre immédiate d'une stratégie canadienne et québécoise de développement de l'industrie de l'hydrogène basée sur l'utilisation des excédents temporaires de production électrique du Québec ainsi que sur des appuis financiers considérables du gouvernement d'Ottawa et des autres provinces intéressées dans le domaine de la recherche, du développement et des investissements dans tous les aspects du secteur industriel relié à l'hydrogène.

12.0 LA STRATÉGIE DE RECHERCHE, DE DÉVELOPPEMENT ET DE DÉMONSTRATION

Les efforts québécois devraient se concentrer en priorité sur un nombre limité d'objectifs axés sur des développements commerciaux pour lesquels des marhcés ont été identifiés. Les efforts de recherche, de développement et de démonstration devraient se poursuivre dans chaque cas, sans relâche, jusqu'à ce que la technologie soit disponible et démontrée à une échelle vraiment industrielle. Il faut donc que chaque démarche offre un maximum d'occasions spécifiques tout en restant dans un cadre global permettant la maximisation des effets synergétiques et la minimisation du double emploi.

12.1 L'électrolyse

L'avantage actuel du Québec se trouve au niveau de l'électrolyse possédé par la Société Noranda qui est l'un des chefs de file incontestés au niveau mondial dans la technologie de l'électrolyse de l'eau.

Le développement de nouveaux électrolyseurs et l'évolution des prix relatifs des alternatives énergétiques signifient qu'à brève échéance, cette technologie deviendra le moyen privilégié pour la production massive de l'hydrogène. Évidemment, pour que le Québec garde son avance dans ce domaine, il est nécessaire de poursuivre les travaux d'évaluation du nouvel électrolyseur-pilote de 1.2 MW situé sur les terrains de l'IREQ mais aussi de passer le plus tôt possible, en tout cas avant 1986, à l'étape de la construction d'une unité de grande envergure qui devra nécessairement être intégrée à un processus industriel pouvant utiliser sa production. Plusieurs alternatives locales ont été identifiées, entre autres les raffineries de l'est de Montréal, Sidbec-Dosco, ou éventuellement l'aéroport de Mirabel pour les avions à hydrogène.

Le coût en capital de cette usine serait de quelque 40 millions $. Bien qu'au début, l'usine ait besoin de bénéficier de dégrèvement tarifaire au niveau de l'énergie électrique utilisée, il est prévu que ce besoin, compréhensible pour faciliter le démarrage d'une nouvelle industrie, serait essentiellement décroissant et que l'aide fournie pourrait être totalement éliminée d'ici à 1995, ce qui est parfaitement cohérent avec les disponibilités de surplus du réseau. L'investissement initial est d'autant plus désirable que l'on prévoit que les innovations subséquentes dans le domaine des électrolyseurs seront d'un caractère évolutif et de ce fait, viables dès leur conception. Il n'y aurait donc pas besoin d'investissements supplémentaires ni d'autres projets de démonstration dans ce domaine mais, par contre, l'avantage décroissant au niveau des coûts énergétiques devra être disponible au niveau de toutes les unités en production au Québec.

12.2 — L'entreposage d'électricité

SNC

Le développement que représenterait la plus grande avance dans la promotion de la technologie et l'utilisation de l'hydrogène serait la réalisation de l'entreposage des surplus saisonniers de l'électricité sous forme d'hydrogène (probablement liquide) avec sa récupération par une pile à combustible efficace. Mis à part l'électrolyseur et la pile, une installation type pourrait posséder une usine capable de rendre captif mille tonnes par jour d'hydrogène et un entreposage suffisant pour la production de cent cinquante jours. Cette échelle d'opération dépasse de loin celles d'aujourd'hui et il faut mettre au point une technologie efficace et bon marché pour la réaliser. Il reste à élaborer les détails et à prévoir le coût d'un programme dans ce sens. Il semble cependant raisonnable d'envisager un développement qui prendrait cinq ans et coûterait 50 millions $, suivi par la construction et l'opération d'une usine de démonstration dont le coût en capital serait lui aussi de près de 50 millions de dollars et le coût d'opération pourrait être de 10 millions $ par année pendant cinq ans. Le prototype industriel pour une installation de 2000 MW pourrait coûter 2 milliards $, les coûts d'immobilisation étant divisés

presque également entre l'électrolyseur, l'usine de liquéfaction, l'entreposage et la pile à combustible.

C'est dans le domaine des piles à combustible que la position compétitive de l'industrie nationale est la moins forte. L'avance déjà acquise par certains autres pays est telle que l'on ne peut prétendre à obtenir une position prépondérante dans ce domaine. Cependant, la mise en place d'un programme d'évaluation de piles à combustible industrielles permettrait l'acquisition de compétence pratique dans ce domaine et à long terme, pourra même amener à certaines innovations spécifiques intéressantes. Un tel programme devrait être de l'ordre de 1 million $ par année et il y aurait intérêt à ce qu'il soit intégré dans le Centre de recherche en électrochimie dont il est fait mention à la section 12.8.

12.3 L'avion à hydrogène

L'emploi comme carburant dans l'aviation représente l'utilisation qui profite le plus des avantages que possède l'hydrogène. Cependant la réalisation d'un tel avion dépasse les capacités industrielles locales donc, toute initiative dans ce secteur devrait se faire dans le cadre d'une coopération internationale. En conséquence, le programme international proposé par Lockheed représente pour le Québec un dossier exceptionnellement intéressant.

Effectivement, les travaux de ce programme se divisent en deux parties d'une importance égale:

a) le développement de l'avion, qu'on devrait laisser à d'autres
b) le développement des systèmes aéroportuaires qu'on pourrait réaliser au Québec.

Les autorités gouvernementales devraient promouvoir activement l'adoption de ce programme chez les membres de l'Agence Internationale de l'Énergie et s'assurer que le Québec participe activement:

a) à la partie du programme relative au développement des systèmes aéroportuaires;

b) aux aspects du développement et de la démonstration des moteurs pour lesquels il possède des compétences.

Selon le programme Lockheed, de tels travaux au Québec coûteraient 50 millions $ et prendraient trois ans. Ceci serait suivi par un programme de démonstration des avions, ce qui exigerait la construction d'une usine à Mirabel pour la liquéfaction de l'hydrogène. On peut prévoir que cette usine coûterait 50 millions $ en frais d'immobilisation et jusqu'à 20 millions $ par année pendant cinq ans en frais d'opération. On s'attend que le prototype industriel ait une capacité de 2000 MW. Cette installation serait semblable à celle décrite dans la section précédente, mais les piles à combustible seraient remplacées par un système d'avitaillement qui n'est pas encore démontré. Dans ces circonstances on s'attend qu'une telle usine coûte entre un et deux milliards de dollars.

Le développement du programme relatif au développement des systèmes aéroportuaires par le biais de l'équipement partiel de l'aéroport de Mirabel serait appelé à avoir des retombées économiques considérables.

À long terme, on peut prévoir que les avions à hydrogène concentreraient leur traffic sur Mirabel et ceci pour tout le nord-est des États-Unis et l'Est du Canada, ceci étant dû au fait qu'on ne prévoit pas que tous les aéroports seront équipés à l'hydrogène mais plutôt qu'un nombre limité de grands aéroports supra-régionaux le seront.

Le développement de l'ingénierie mettrait le Québec en une très bonne position pour devenir exportateur de tout ce qui touche à l'équipement des aéroports à hydrogène. Même si on ne prévoit pas à moyen terme plus d'une trentaine d'aéroports à hydrogène, cela représente néanmoins une occasion d'exportation d'ingénierie et d'équipement pouvant rapporter jusqu'à 60 milliards de dollars.

Si on ne trouve pas de collaborateurs-ressources pour entreprendre un tel programme, on pourrait songer à une collaboration franco-québécoise pour le développement d'un hélicoptère à hydrogène. Pour de tels appareils, l'emploi de l'hydrogène devrait être encore plus avantageux que pour les avions, cependant le marché serait plus restreint. On suggère une collaboration avec la France, vu l'avance reconnue de ce pays quant aux hélicoptères.

On pourrait aussi songer à développer la technologie de refroidissement de la couche limite des avions. Les économies qui découlent de l'emploi de cette technologie augmentent avec la vitesse des avions. Ainsi, cette technologie devient un élément très significatif dans l'ingénierie des avions supersoniques économiques de demain. La maîtrise de cette technologie permettrait au Québec de profiter de ce marché futur; de plus, les échéances pourraient aussi lui permettre l'organisation d'une intervention encore plus considérable quant à l'aéronautique commercial supersonique.

SNC

12.4 Le transport terrestre

À court terme, il n'y a que deux options disponibles au niveau des transports terrestres, l'un passe par les hydrocarbures et l'autre par l'électricité. Les applications dans lesquelles on peut utiliser des réseaux de transport électrifiés sont limitées par les coûts d'investissement et le fait que ces systèmes ne sont viables que lorsqu'ils sont très denses et à très forte fréquence d'utilisation. Si l'on veut faire une pénétration dans le marché des systèmes de

transport terrestre à faible ou moyenne densité et à faible ou moyenne fréquence, il faut être capable d'éviter la limitation des systèmes actuels. La solution passe nécessairement par une transformation initiale de l'énergie électrique en hydrogène.

Les piles à combustible se présentent comme l'option éventuellement la plus efficace pour la récupération sous forme d'électricité de l'énergie stockée sous forme d'hydrogène. Par contre, il faut voir le développement des piles à combustible comme un objectif à plus long terme qui n'exclut pas l'existence d'occasions à plus court terme et pour des applications spécifiques d'une génération de moteurs à piston capables de fonctionner à l'hydrogène. Il semblerait donc judicieux de viser dès maintenant le développement d'un moteur diésel pouvant être utilisé dans les véhicules hors routes, sur les équipements de mines et de chantiers et, possiblement, sur de l'équipement routier. Ce projet viserait essentiellement à remplir un créneau devant exister avant l'avènement peut-être encore éloigné des systèmes basés sur les piles à combustible; ce serait aussi une alternative en cas d'échec de l'option pile à combustible. Ce programme représente un effort de développement et de démonstration de 50 millions $ dans les cinq prochaines années.

Dans le cadre des piles à combustible, on devrait prévoir le développement et la démonstration de plusieurs systèmes basés sur ce principe, soit une voiture, un camion, une locomotive et éventuellement un bateau avec leurs infrastructures appropriées. Au premier abord, il serait raisonnable de prévoir des coûts de l'ordre de 50 millions $ par système. L'effort étant porté sur les systèmes plutôt que sur les piles relativement inefficaces, le travail de développement des systèmes pourra débuter immédiatement, le succès des programmes étant éventuellement relié à la disponibilité de piles adéquates.

12.5 Les gazoducs

Un autre secteur clef dans la technologie de l'hydrogène sera sa distribution par gazoduc. Présentement, on se sert de l'hydrogène

"in-situ", cependant on prévoit déjà d'utiliser l'hydrogène pour le remplacement partiel et éventuellement total du gaz naturel. D'autre part, l'Hydro-Québec pourrait décider de faire parvenir l'énergie disponible à partir des barrages de la région de l'Ungava sous forme d'hydrogène gazeux vu l'absence d'une ligne de transport convenable. Cette option nécessiterait évidemment le développement d'un réseau important de gazoducs à hydrogène. Étant donné qu'il est possible que les unités de production d'hydrogène et les utilisateurs d'hydrogène ne soient pas toujours situés à proximité immédiate les uns des autres, il faut prévoir la nécessité d'un réseau de gazoducs à hydrogène permettant d'acheminer celui-ci vers les utilisateurs industriels éventuels.

La maîtrise locale complète de la technologie des gazoducs à hydrogène semble être un objectif très souhaitable. À ces fins, il faut prévoir la mise en place d'une ligne de démonstration. Cette ligne de démonstration pourrait être utilisée de façon à permettre la localisation d'une usine de production d'hydrogène électrolytique sur un site favorable mais différent de celui occupé par un utilisateur important. Le gazoduc ferait le lien entre les deux. L'ingénierie et la construction d'une telle ligne pourrait coûter jusqu'à 50 millions $ et prendre trois ans.

Une autre option serait d'intégrer ce gazoduc aux opérations industrielles courantes du Québec. Les quatre installations locales productrices de chlore produisent des surplus d'hydrogène, plusieurs opérations d'électroréduction ont elles aussi comme sous-produit des quantités de monoxyde de carbone qu'on pourrait transformer en hydrogène.

12.6 Les carburants synthétiques

Le grand marché pour l'hydrogène se trouve au niveau des carburants synthétiques, principalement dans le domaine du transport. Dans ce secteur, les hydrocarbures liquides sont bien établis et à court terme,

il faut s'attendre qu'une bonne partie de la production de l'hydrogène servira à la production des carburants synthétiques compatibles avec les systèmes déjà en place. Le méthanol y joue un rôle particulièrement important, vu sa compatibilité avec les moteurs à piston, les turbines à gaz et les piles à combustible.

Dans ce domaine, le monde se divise entre ceux qui produiront les carburants synthétiques à partir du charbon et ceux qui serviront des biomasses. Le Québec se trouve dans cette dernière catégorie. En conséquence, il faut prévoir un maximum d'intégration entre les programmes au niveau de l'hydrogène et ceux qui visent la valorisation des biomasses.

12.7 L'utilisation industrielle de l'hydrogène

La construction au Québec d'usines conventionnelles pour la production de l'ammoniac ou du méthanol avantagerait le Québec et augmenterait les compétences technologiques locales. Cependant, ces usines incorporeraient peu d'aspects innovateurs. Aussi, vu les conditions du marché local et mondial pour ces produits, il semble peu probable que la construction de telles usines aura lieu au Québec avant longtemps à moins que leur production soit rentable à partir du monoxyde de carbone émis par certaines opérations locales d'électroréduction.

SNC

De l'autre côté, l'incorporation d'hydrogène électrolytique dans les opérations de Sidbec-Dosco représenterait une certaine innovation technique.

12.8 La recherche fondamentale et ses suites

Les premières retombées initiales des projets suggérés ci-dessus permettraient entre autres de constater de façon plus précise les lacunes existantes au niveau des connaissances scientifiques et techniques nécessaires pour avancer la technologie dans laquelle on pourrait devenir un facteur dominant ou important. Déjà les projets de l'IREQ

et de l'École Polytechnique se penchent sur des aspects de la sécurité, la fragilisation, l'entreposage de l'électricité sous forme d'hydrures liquides ou solides, des gazoducs, des normes, etc. Les initiatives proposées devraient montrer quels efforts additionnels s'imposent dans ces domaines et dans les domaines connexes.

Pour soutenir les efforts présents et futurs, il faut prévoir une enveloppe d'investissements moyenne de 5 millions $ par année pour les dix prochaines années.

Il faut aussi envisager la création d'une équipe de recherche et de développement dans le domaine de la production de l'entreposage et l'utilisation originale de l'hydrogène. À côté de la chimie industrielle classique, il semble se développer une nouvelle chimie industrielle principalement autour des possibilités des opérations hybrides, dont certaines pourraient être utilisées au Québec. Une telle équipe coûterait peut-être 500 000$ par année à ses débuts. Sa première tâche serait de dresser un inventaire complet de toutes les possibilités dans ce domaine. Parmi celles-ci se trouvent celles déjà indiquées dans ce rapport, la réduction électrolytique industrielle du charbon ou des pétroles lourds, l'électrolyse de l'eau sous pression, l'exploitation efficace de l'évaporation de l'hydrogène liquide, les possibilités de stabilitér l'ammoniac électrolytique sous forme de nitrate suite à l'emploi (au lieu de l'air) de l'oxygène sous produit en quantité presque stoéchométrique, etc.

La technologie de l'hydrogène électrolytique ne peut pas être séparée de la technologie électrochimique dont elle fait partie. En conséquence, il est essentiel que les travaux du nouveau Centre de recherche en électrochimie proposé par le Conseil National de la Recherche du Canada soient intégrés à tout programme québécois relatif à l'hydrogène. On estime le coût de ce Centre à quelque 20 millions $ pour ses cinq premières années d'opération.

Cependant, ce budget se limite aux recherches à caractère plutôt fondamental sur la cinétique des réactions aux électrodes, les matériaux des cellules, les piles voltaïques et les piles à combustible, et aussi sur les études exploratoires relatives aux applications possibles de ces nouvelles technologies. Il exclut les projets en vue de la démonstration des nouvelles technologies et applications pour le marché industriel électrochimique aussi bien que tout projet en vue de l'exploitation agressive des possibilités de l'hydrogène, de sa nouvelle chimie industrielle et de la solution des problèmes connexes. L'intégration entre le Centre de recherche en électrochimie et ces activités reste à déterminer. Néanmoins pour faciliter tout transfert ultérieur de la technologie, il serait préférable que la gérance d'au moins ces dernières activités soit confiée à une société oeuvrant dans le secteur industriel et n'ayant pas de parti-pris. Finalement, une collaboration étroite devrait aussi exister entre les efforts québécois dans les domaines de l'hydrogène et de la fusion nucléaire.

12.9 Encadrement

L'ampleur des programmes décrits ci-haut avec les besoins d'une coordination et d'une concertation entre l'industrie, les universités, les centres de recherche et les gouvernements, pendant leur réalisation signale la nécessité de la mise en place d'un Conseil de l'industrie de l'hydrogène. Ce Conseil devrait avoir le mandat de guider les efforts québécois vers une première place mondiale dans l'exploitation du savoir-faire et des équipements reliés à la technologie de l'hydrogène. Le financement de ce Conseil devrait être assuré par les engagements à long terme de la part des industriels et les deux niveaux de gouvernement. Le rôle, les objectifs et la structure du Conseil ont fait l'objet des préoccupations spécifiques d'un sous-comité du Comité québécois de l'hydrogène liquide. Des informations se rapportant à ce Conseil se trouvent en Annexe D.

Il faut s'attendre que le premier geste du Conseil sera le développement des "arbres de décision" nécessaires afin de faire ressortir les relations et les interactions entre les projets auxquels on s'intéresse, leurs exigences particulières, leurs résultats anticipés et les objectifs visés.

Afin d'éviter toute duplication inutile, ces efforts pour structurer l'organisation du secteur doivent aussi tenir compte des efforts actuels partout au Canada. L'Ontario, par exemple, considère l'hydrogène comme le vecteur énergétique flexible pouvant relier ses centrales nucléaires aux applications "non-électrifiables", les transports en priorité. Ainsi plus que la moitié des sommes accordées dans ce domaine seront consacrées à la modification par UDTC d'un moteur diésel standard (GM deux temps) et son évaluation dans une flotte d'autobus.

12.10 Note des auteurs

Pour mieux cerner l'enjeu, le Comité a attribué un coût pour chacun des projets susmentionnés. Il faut signaler cependant que ces chiffres ne sont que provisoires et très approximatifs, vu l'absence de ressources permettant une détermination exacte de tels coûts. Les chiffres suggérés représentent le meilleur jugement du Comité, mais ils sont souvent basés sur ce qui est cité dans les rapports sectoriels, les publications et les documents de travail disponibles au milieu.